

ソフトウェア無線を活用した 月測位送受信機の開発と検証

○海老沼拓史，曾布川璃音，仁枝魁斗（中部大学）

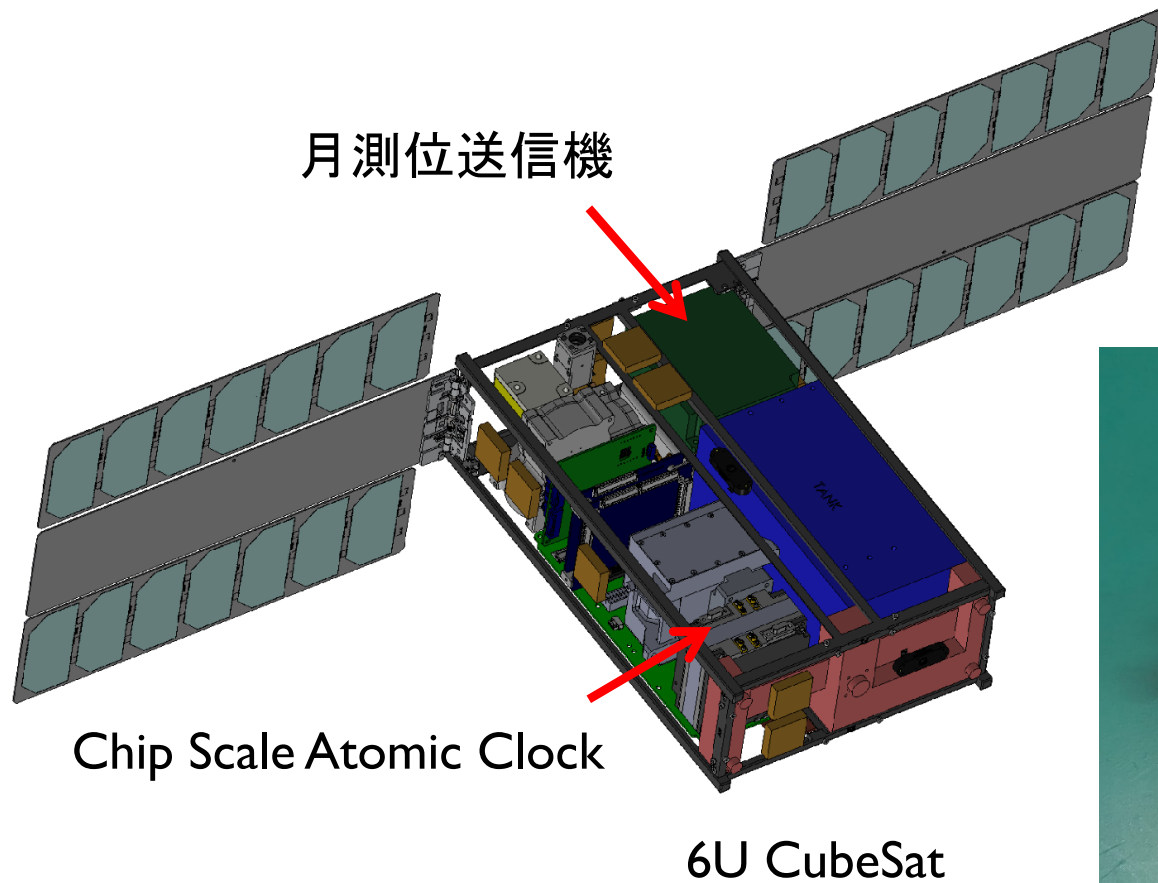
月測位衛星システム

- ▶ 将来の月探査ミッションの基盤となる測位衛星システムの研究開発が進められている。
 - ▶ JAXA: LNSS (Lunar Navigation Satellite System)
 - ▶ NASA: LunaNet
 - ▶ ESA: MoonLight
- ▶ 月版のGPS (GNSS) であり、複数の月周回衛星が必要となる。
- ▶ しかし、月周回軌道に多数の大型衛星を一度に打ち上げることは、費用の面から難しい。
- ▶ そこで、超小型月測位衛星であるLunaCubeを開発中



月測位衛星LunaCube

- ▶ 福井大学、東京大学、中部大学の共同開発
- ▶ 中部大学は測位送受信機の開発を担当



108mm × 90mm × 38mm



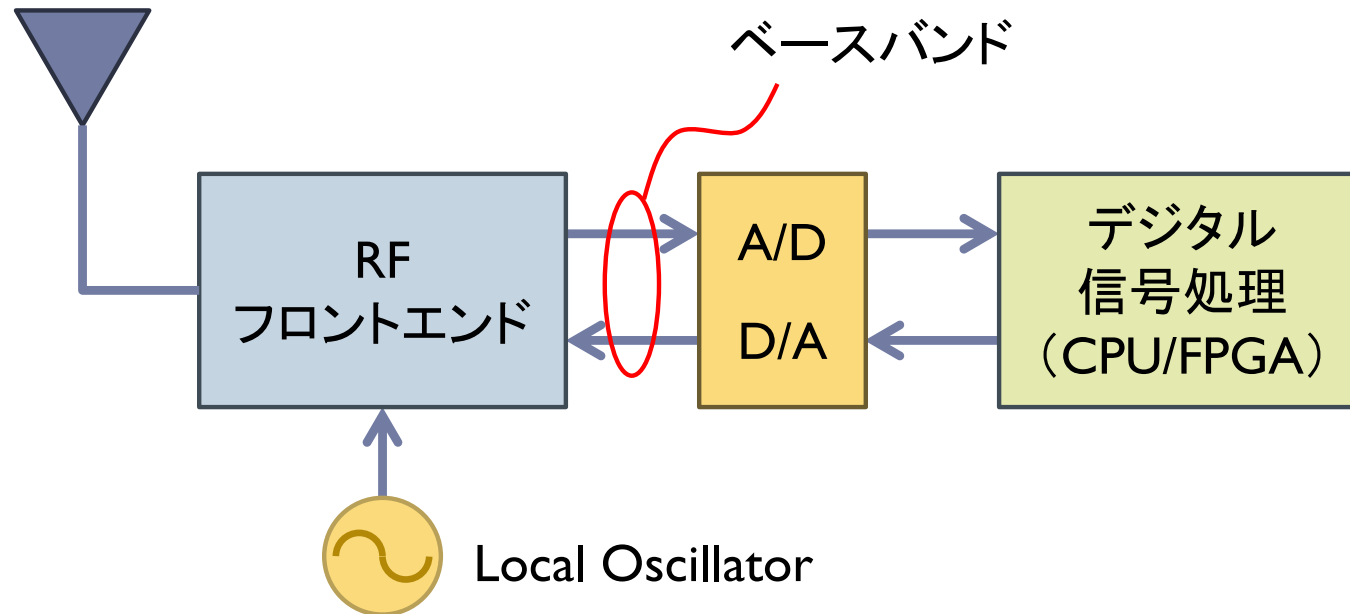
月測位送信機

- ▶ 月測位信号の中心周波数や変調方式などは、NASAやESAを中心に相互運用性を確保する方向で調整中であり、まだ詳細な仕様は確定していない。
 - ▶ このような流動的な仕様にも対応可能なように、月測位送受信機のアーキテクチャとして、再構築可能な無線機を実現するソフトウェア無線 (SDR: Software Defined Radio)を採用
 - ▶ さらに、測位信号の生成機能は、MATLAB/Simulinkによるモデルベース開発 (MBD: Model Based Development)で実装
-



ソフトウェア無線とは？

- ▶ 無線通信システムの機能を、ハードウェアは変更せずに、ソフトウェアあるいはプログラマブルな回路（FPGAなど）を使用して、再構築可能な通信技術



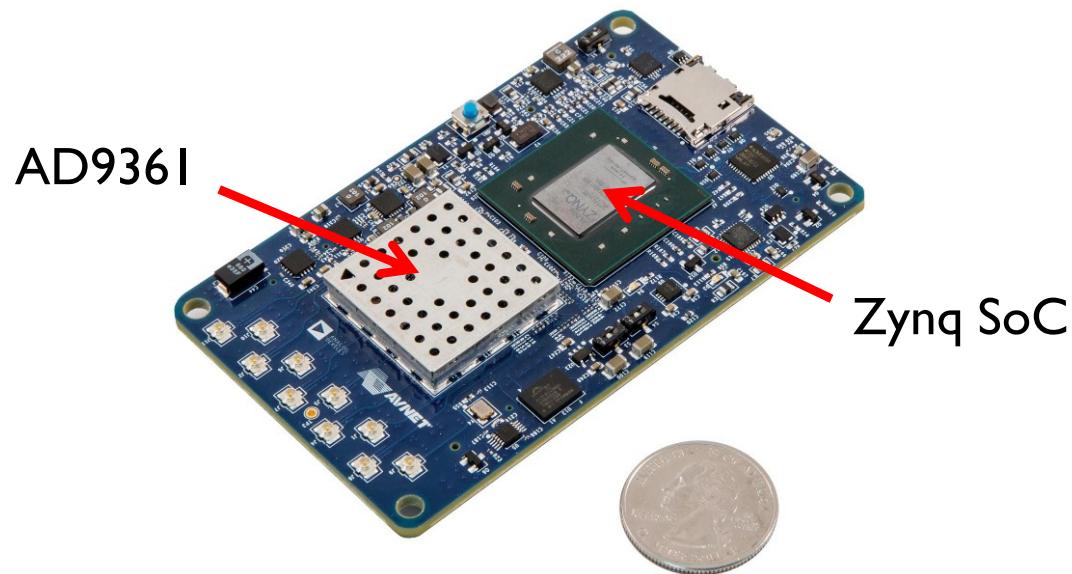
モデルベース開発とは？

- ▶ 実際のハードウェアをモデル化したデジタルツインによるシステムの開発と検証
 - ▶ ハードウェアのプロトタイプでは再現が困難なテスト条件でも検証が可能
- ▶ 動作検証を終えたモデルから、ハードウェア用のコードを自動生成
 - ▶ 手作業でのコーディングによる時間を節約し、エラーも防ぐ。
- ▶ モデルベース開発により、制御システム、信号処理、通信システムなどの動的システムを、効率的に開発できる。



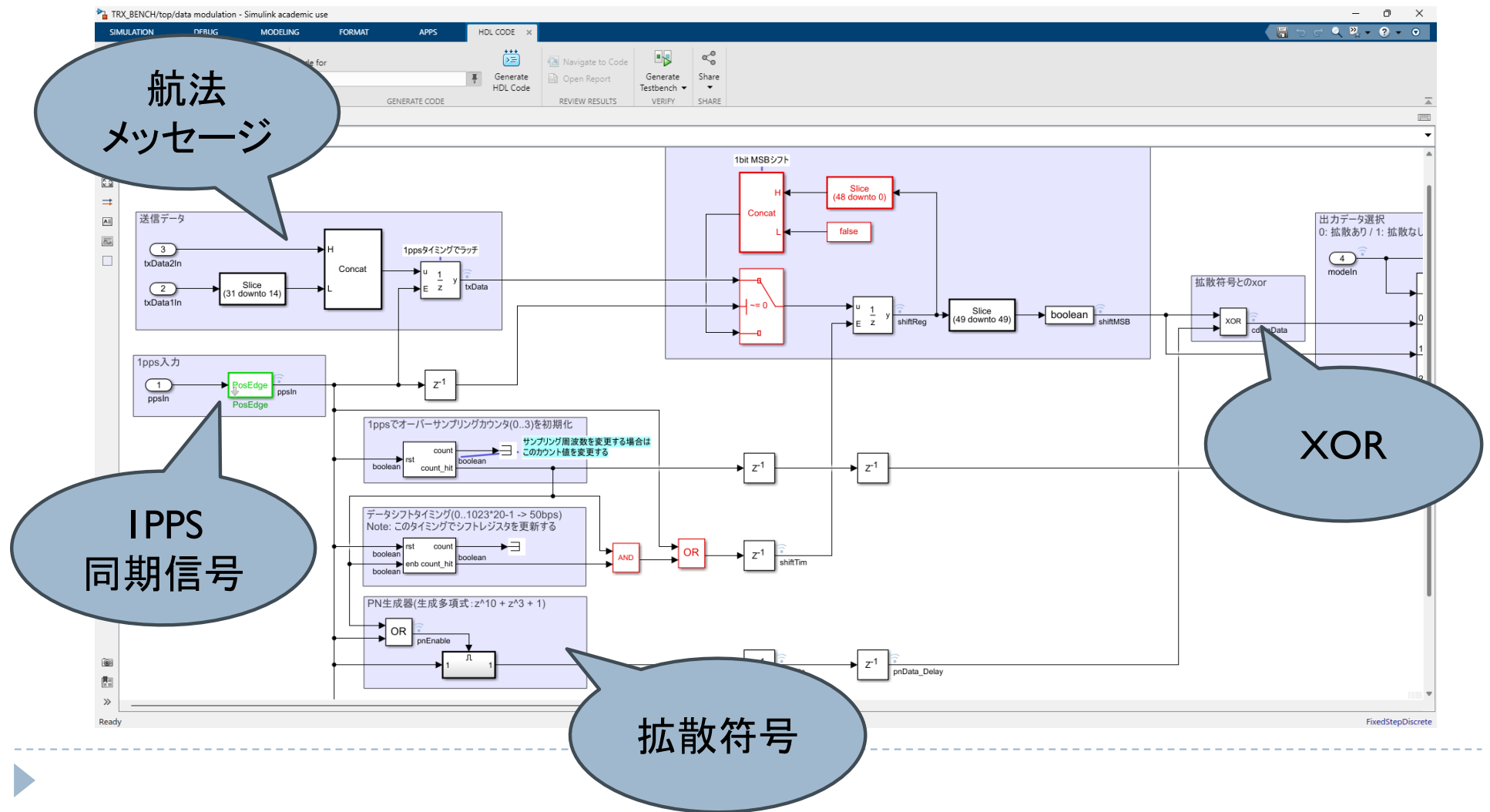
月測位送信機の構成

- ▶ ターゲットデバイスは、Analog Devices社が提供するADRV9361-Z7035を採用
 - ▶ RFフロントエンドのAD9361は3G/4Gの基地局向けのトランシーバであり、6GHzまでの周波数帯に対応
 - ▶ デジタル信号処理部には、FPGAとARMプロセッサが一体となったAMD社（旧Xilinx社）のZynq SoCを搭載



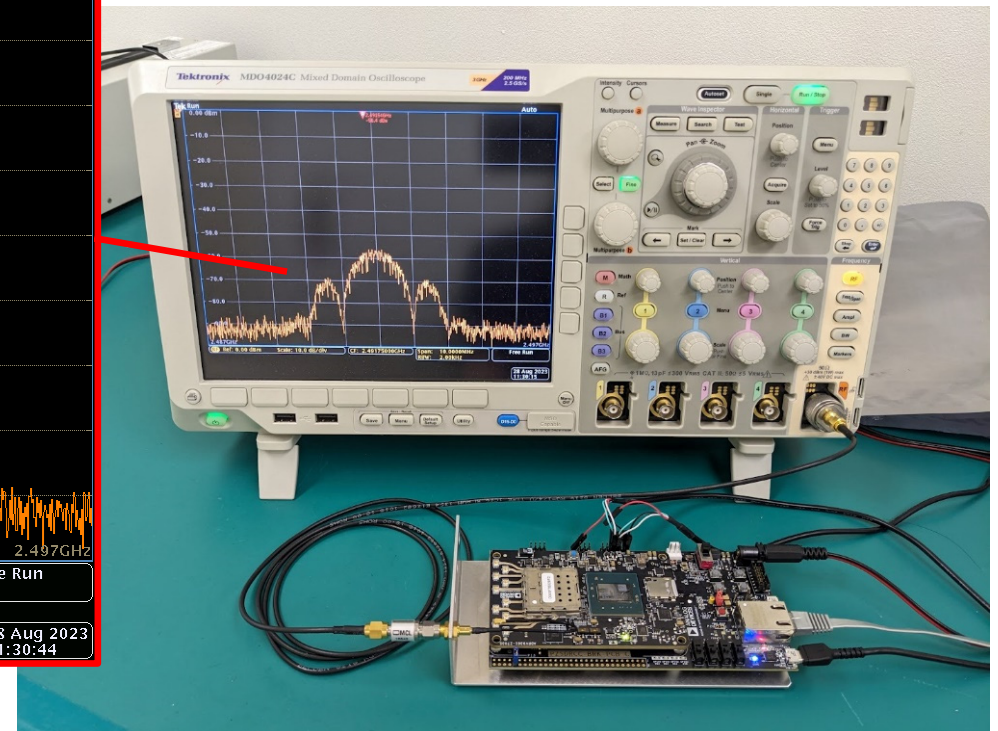
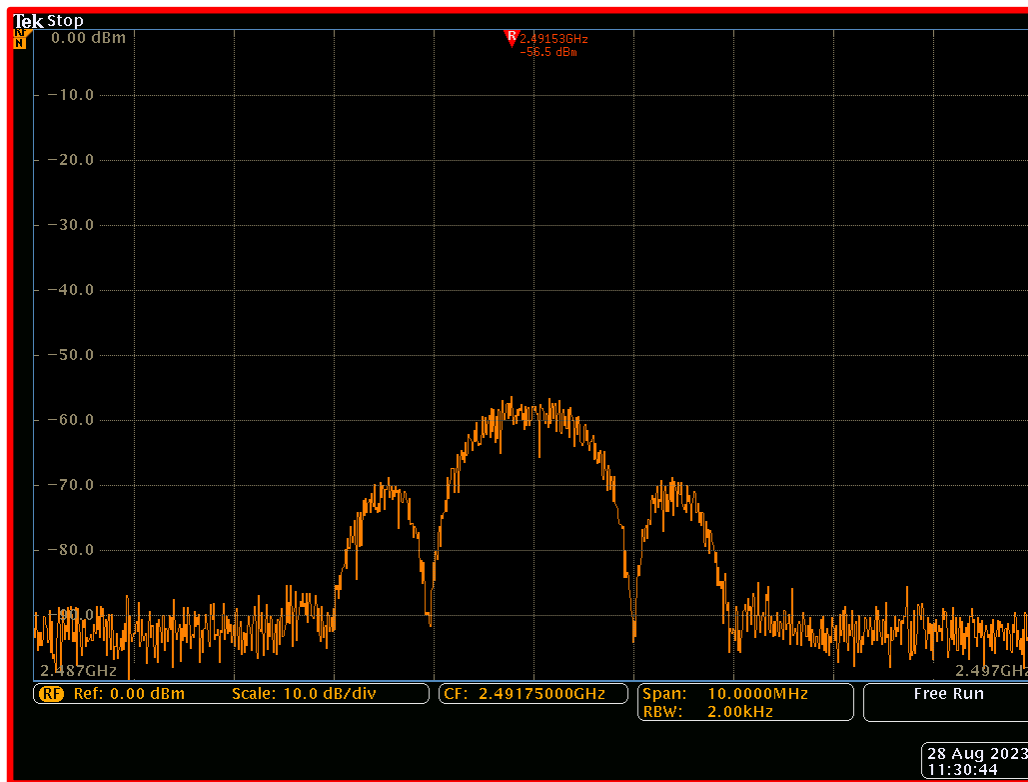
月測位送信機のモデル化

- ▶ GPSと同様のBPSK変調によるスペクトル拡散と、航法メッセージの送信機能をMATLAB/Simulinkでモデル化



HDLコードの自動生成と実装

- ▶ MATLAB/Simulink上で動作の確認されたモデルから、HDL Coderを用いてFPGAのコードを自動生成し、ADRV9361-Z3065に実装



月測位信号シミュレータ

- ▶ 月測位信号の捕捉、追尾、さらに航法メッセージの復号をソフトウェア無線で実装した受信機で確認
 - ▶ オープンソースのソフトウェア受信機であるPocketSDRを改修
- ▶ ただし、月測位受信機の測位機能は、月測位送信機と接続するだけでは確認できない。
 - ▶ 衛星－受信機間の遅延時間の模擬
 - ▶ 衛星の運動による受信周波数のドップラー
 - ▶ 複数衛星の同時観測
- ▶ 月測位受信機が月面または月近傍で受信するであろう月測位信号を模擬するシミュレータが必要
 - ▶ ソフトウェア無線を利用したGPS信号シミュレータであるgps-sdr-simをベースに、月測位信号シミュレータを開発



航法メッセージの拡張

- ▶ 月測位信号の航法メッセージの構造を、GPSの仕様を参考に検討
 - ▶ 月周回軌道のケプラー軌道6要素と摂動項
 - ▶ 試験的に摂動項はすべてゼロとしている。
- ▶ 月測位衛星システムの軌道として検討されている Elliptical Lunar Frozen Orbit (ELFO) は離心率が0.6以上の楕円軌道である。
 - ▶ GPSの航法メッセージは円軌道を想定しているため、離心率は最大で0.5までしか対応していない。
 - ▶ 航法メッセージの構造はそのまま、scale factorを変更することで、最大1.0までの離心率に対応



まとめ

- ▶ 超小型月測位衛星LunaCubeに搭載される月測位送信機を開発中
 - ▶ 流動的な仕様にも対応できるように、月測位送受信機のアーキテクチャとして、ソフトウェア無線を採用
 - ▶ 主要な無線機能をMATLAB/Simulinkによるモデルベース開発で実装
 - ▶ 複数衛星による月測位システムとしての機能実証のために、月測位信号シミュレータを開発
 - ▶ ソフトウェア受信機による測位信号の捕捉、追尾、および航法メッセージの復号は確認済み。測距および測位演算機能を追加し、測位機能の評価を実施予定
-



謝辞

- ▶ 本研究は文部科学省宇宙航空科学技術推進委託費 JPJ000959の助成を受けたものです。

